

УДК 539.3

ЭКСПЕРИМЕНТАЛЬНЫЕ МЕТОДЫ ИЗУЧЕНИЯ ПРОЧНОСТНЫХ ХАРАКТЕРИСТИК ОБОЛОЧЕК БИОЛОГИЧЕСКОГО ПРОИСХОЖДЕНИЯ

Л.У. Харисламова, С.Н. Якунов

Аннотация

Отмечаются экспериментальные методы изучения механических свойств биологических тканей. Развита двумерный экспериментальный метод определения механических характеристик экзокарпия (кожица) яблока.

Ключевые слова: биологические ткани, механические свойства, экспериментальный метод.

Тонкие структуры (пленки, мембраны и покрытия) больших размеров легко встретить в природных конструкциях: кожура различных овощей и фруктов - все это тонкие структуры, несущие, в частности, защитные функции плодов. Представляет интерес исследование механических свойств биологических мембран, в частности, для оценки и контроля качества сельскохозяйственной продукции, а также при транспортировке и хранении плодов. Известны экспериментальные исследования механических характеристик биологических мембран на искусственных аналогах [1] - бислойных липидных мембранах. В работах [2-5] для исследований деформаций клеточных мембран используется оптический микроскоп. Зачастую в экспериментальных работах используется разрывная машина Instron [6]. Известен способ определения прочности мезокарпия (мякоти) и экзокарпия (кожуры) на прокол [7]. Для плодов различных размеров используются различные насадки (иглы). В работе [8] приводится сравнительный анализ результатов исследований механических свойств яблок, персиков и нектаринов, полученных ручным пенетрометром с данными, полученными путем "протыкания" на разрывной машине Instron. Применение разрывной машины при определении прочности мезокарпия и экзокарпия на прокол позволяет варьировать насадки и скорость нагружения. Thompson R.L. с соавторами [9] в 1982 году исследовали путем "протыкания" характеристики образцов, вырезанных из огурца. Использовались инденторы цилиндрической формы с плоским концом и диаметром: 0.200, 0.625, 0.315, 0.475 см. Thompson R.L. с соавторами в 1992 году исследовали твердость мезокарпия и экзокарпия огурца [10]. Метод был опробован также на грушах, яблоках, баклажанах, перце, цуккини и авокадо. Диаметр индентора варьировался от 2 до 6.35 мм; был выбран в качестве наиболее оптимального диаметр индентора 3.15 мм. Исследования проводились при различных скоростях нагружения. Благодаря выбранному методу [10] авторам удалось оценить влияние экзокарпия и выявить силу для протыкания целого плода. M. Shirmohammadi и P. Yarlagadda в 2012 году выполнили исследования по определению прочности и твердости образцов кожуры тыквы, очищенной и неочищенной мякоти [11]. Средняя толщина образцов кожуры составила 5 мм, а толщина мякоти и неочищенных образцов 50 мм. Авторы построили соответствующие кривые "нагрузки-деформации". Для определения прочности экзокарпия плода используют также метод точечного давления (прокола). Такой метод

использовались M. Grottea, F. Duprata и др. [12, 13] для определения прочности, твердости, деформации и разрушающей нагрузки кожуры и мякоти яблок. Были найдены различия между сортами в общей прочности плода и прочности экзокарпия. Метод прокалывания был также использован для определения механических характеристик фрукта киви. SeyedMohammadAliRazavi и MaryamBahramParvar [14] определяли различные геометрические параметры образцов (длина, толщина, сферичность и т.д.), а также их механические характеристики для того, чтобы в дальнейшем полученные ими данные могли быть использованы для создания более эффективного оборудования для сбора урожая, его обработки и транспортировки. Еще один способ экспериментального изучения механически-структурных свойств плодов - это тест на сжатие. Подобные опыты выполняются на разрывных машинах. Так, S. Sagsoz и F.N. Alaunt в 2001 году испытывали целую луковичу на сжатие [15]. Образец помещали между двумя плоскими плитами. Авторы установили, что скорость нагружения, а также сорт плода значительно влияют на определяемый модуль упругости. ZhiguoLi, PingpingLi, JizhanLiu в 2010 году также испытывали целый плод (томат) на сжатие [16]. Авторы установили, что внутреннее строение томата существенно влияет на его механические характеристики. Авторы исследовали также зависимость характеристик плода от срока их хранения. AbbasGorjiChakespari, AliRajabipour, HosseinMobli в 2010 году испытывали на сжатие вырезанные из яблока образцы [17]. Они пришли к выводу, что различные сорта (эксперименты проводились над сортами яблок Shafiabadi и GolabKohanz) имеют разную прочность и жесткость. Наряду с испытаниями на сжатие также проводятся и эксперименты на растяжение. Так M.C. Alamar, E. Vanstreels и др. в 2007 году испытывали яблоко на растяжение [18]. Авторы изучали деформацию клеток во время тестов на растяжение и сжатие. M. Grotte, F. Duprat и др. в 2002 году выполнили экспериментальную работу по определению модуля Юнга, коэффициента Пуассона, а также коэффициента Ляме [19]. Был проведен прокол плодов (яблоки), имитация удара, а также акустический тест. Исходными данными были: плотность (плавучесть), диаметр плода и его масса. Из опыта был найден коэффициент эластичности, вычислена общая прочность плода и мякоти без кожуры. Тест на удар - имитация падения. Падение фрукта на жесткую поверхность дает возможность оценить поглощенную энергию, максимальную ударную нагрузку и максимальную деформацию. Для обработки данных по динамическим испытаниям авторы использовали модифицированную теорию Герца о столкновении двух упругих тел, модуль упругости вычислялся по формулам Гука в предположении, что наблюдается упругая деформация. Экспериментальные исследования на удар, а также на сжатие были проведены также N.A. Aviara, S.K. Shittu и M.A. Naque [20]. Авторы учитывали сорт плодов, методы их хранения после сбора и содержание влаги. Среди методов изучения механических характеристик плодов можно также отметить работу Amir H., AfkariSayyah, BehroozEsmailpour [21], посвященную построению кривой ползучести. Известны работы, в которых проводится сравнение экспериментальных данных с численными результатами. В частности, в работе [22] приводятся сравнение экспериментальных данных механических характеристик кожицы луковичы с численными данными, полученными на программе ANSYS. Авторы предлагают для исследования механических характеристик использовать двумерный экспериментально-теоретический метод, который разработан в лаборатории нелинейной механики оболочек ИММ КазНЦ РАН для исследования свойств тонкостенных мембран и пленок. В частности, авторами были проведены исследования этим методом кожуры яблок. По результатам испытаний были построены графики зависимости прогиба образца от давления.

Закключение: Выполнен обзор известных экспериментальных методов изучения

механических свойств биологических структур. Предложено для исследования механических свойств биологических мембран использовать экспериментально-теоретический метод исследования. Выполнены исследования биологических мембран (кожура яблока), построен график зависимости прогиба образцов от давления.

Summary

L.U. Kharislamova¹, S.N. Yakupov². The experimental methods of studying the strength characteristics of membranes of biological origin. The experimental methods of studying the mechanical properties of biological tissues are considered. The two-dimensional experimental method of determining the mechanical characteristics of apple's tissue is proposed.

Key words: biological tissue, mechanical properties, the experimental method.

Литература

1. Рубин А.Б. Биофизика клеточных процессов. – М.: МГУ, 2004. – 471 с.
2. Dintwa E., Janeska P., Mebatsiona H.K., Verlindena B., Verbovena P., Wang C.X., Thomas C.R., Tijssens E., Ramona H., Nicola B. A finite element model for mechanical deformation of single tomato suspension cells // Journal of Food Engineering. – 2011. – № 103. – P. 265–272.
3. Meyers Marc André, Chen Po-Yu, Yu-Min Lin Albert, Seki Yasuaki. Biological materials: Structure and mechanical properties // Progress in Materials Science. – 2008. – Vol 53. – P. 1–206.
4. Hepworth D. G., Bruce D. M. Measuring the Deformation of Cells within a Piece of Compressed Potato Tuber Tissue // Annals of Botany. – 2000. – № 86. – P. 287–292.
5. Nilsson S., Hellmuth Hertz C., Falk Stig. On the Relation between Turgor Pressure and Tissue Rigidity. Theoretical Calculations on Model Systems // PHYSIOLOGIA PLANTARUM. – 1958. – Vol 11. – P. 818–837.
6. DobrzanskiBohdan, RabcewiczJacek, RybczynskiRafa. Handling of Apple transport techniques and efficiency vibration, damage and bruising texture , firmness and quality. – LUBLIN: ALF-GRAF, UL. KO CIUSZKI 4, 20-006, 2006. – 234 p.
7. Abbott1 Judith A., Roger Harker F. .: www.ba.ars.usda.gov/hb66/021texture.pdf (дата обращения: 10.11.2013)
8. Judith A. Abbott, Alley E. Watada, and David R. Massie. Effe-gi, Magness-Taylor, and Instron Fruit Pressure Testing Devices for Apples, Peaches, and Nectarines // Amer. Soc. Hort. – 1976. – № 101. – C. 698–700.
9. Thompson R.L., Fleming H.P., Hamann D.D., Monroe R.J. METHOD FOR DETERMINATION OF FIRMNESS IN CUCUMBER SLICES // Journal of Texture Studies – 1982. – № 13. – P. 311–324.
10. Thompson R.L., Fleming H.P., Hamann D.D. DELINEATION OF PUNCTURE FORCES FOR EXOCARP AND MESOCARP TISSUES IN CUCUMBER FRUIT// Journal of Texture Studies. – 1992. – № 23. – P. 169–184.
11. Shirmohammadi M., Yarlagadda P. Experimental study on mechanical properties of pumpkin tissue // Journal of Achievements in Materials and Manufacturing Engineering . – 2012. – № 54. – P. 16–24.
12. Grotte M., Duprat F., Loonis D. Pitri E. MECHANICAL PROPERTIES OF THE SKIN AND THE FLESH OF APPLES // International Journal of Food Properties. – 2001. – № 4. – P. 149–160.

13. . Duprat F., Grotte M., Loonis D., Pietri E. Simultaneous measurement of apple flesh and apple skin firmness by puncture testing // *Sciences des aliments*. – 2000. – № 20. – P. 253–263.
14. *Seyed Mohammad Ali Razavi, Maryam BahramParvar*. Some Physical and Mechanical Properties of Kiwifruit // *International Journal of Food Engineering*. – 2007. – Vol. 3. – Issue 6. – Article 3.
15. *Sagsozu S., Alaunt F.N.* Comparison of some methods to determine the modulus of elasticity of some onion varieties // *Journal of Biological Sciences*. – 2001. – Vol.1. – P. 798–800.
16. *Zhiguo Li, Pingping Li, Jizhan Liu*. Effect of tomato internal structure on its mechanical properties and degree of mechanical damage // *African Journal of Biotechnology*. – 2010. – Vol.9. – P. 1816–1826.
17. *Abbas GorjiChakespari, Ali Rajabipour, HosseinMobli*. Strength Behavior Study of Apples under Compression Loading // *Modern Applied Science* . – 2010. – Vol.4.
18. . *Alamar M.C. ,Vanstreels E. etc.* Micromechanical behaviour of apple tissue in tensile and compression tests: Storage conditions and cultivar effect // *Journal of Food Engineering*. – 2008. – № 86. – P. 324–333.
19. *Grotte M., Duprat F.* YOUNG'S MODULUS, POISSON'S RATIO, AND LAME'S COEFFICIENTS OF GOLDEN DELICIOUS APPLE // *International Journal of Food Properties*. – Published online: 06 Feb 2007.
20. *Aviara N.A., Shittu S.K., Haque M.A.* Physical properties of guna fruits relevant in bulk handling and mechanical processing // *Int. Agrophysics*. – 2007. – № 21. – С. 7–16.
21. *Amir H., AfkariSayyah, BehroozEsmailpour* Apple firmness measurement based on visco-elastic properties // *Journal of Food, Agriculture Environment*. – 2008. – Vol.6. – P. 276–279.
22. . *Piotr M. Pieczywek, ArturZdunek* Study on model development of plant tissue using the finite element method // *InsideFood Symposium*. – 2013.

Сведения о каждом из авторов статьи

Харисламова, Лейсан Усмановна – аспирант, Институт механики и машиностроения КазНЦ РАН

E-mail: lejsanh@yandex.ru

Якупов Самат Нухович – к.т.н., старший научный сотрудник, Институт механики и машиностроения КазНЦ РАН

E-mail: tamas6@mail.ru